

Vergleichende Untersuchungen
über den
zeitlichen Ablauf der Einzelkontraktion
im Herz- und Skelettmuskel

Cäcilie Brückner

Aus dem Physiologischen Institut der Universität München

Direktor: Prof. Dr. R. W a g n e r

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN ZEIT -
LICHEN ABLAUF DER EINZELKONTRAKTION IM HERZ -
UND SKELETTMUSKEL.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München



vorgelegt von

Cäcilie Brückner

aus

M ü n c h e n

1 9 5 8

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Dr. H. Reichel

Dekan: Prof. Dr. W. Büngeler

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Juni 1958

Meiner lieben Mutter
gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555221_0115

Der zeitliche Ablauf der isometrischen Einzelzuckung eines Herz- oder Skelettmuskels kann sich auch unter physiologischen Bedingungen (ausreichender Sauerstoffversorgung, normaler Umgebungsflüssigkeit und genügender Energiereserve) ändern. Reizfrequenz und Temperatur sind die wichtigsten Grössen, die den Zuckungsverlauf beeinflussen. Anstiegszeit (Zeit vom Fusspunkt der Kontraktion bis zum Gipfelpunkt) und Erschlaffungszeit (Zeit vom Gipfelpunkt bis zum Ende der gesamten Zuckungsdauer) können in verschiedener Weise durch die genannten Grössen geändert werden. Zunahme der Reizfrequenz verkürzt z.B. die Anstiegszeit, während die Erschlaffungszeit je nach den Reizbedingungen verlängert oder verkürzt wird.

Eine eingehend vergleichende physiologische Analyse des Zuckungsverlaufes bei den verschiedensten Objekten steht bisher noch aus. Wir halten gerade solche Untersuchungen für erforderlich, seitdem bekannt ist, dass der Herzmuskel sich bezüglich seiner Reaktion auf künstliche Entdehnungen zu verschiedenen Zeitpunkten einer Einzelkontraktion grundsätzlich anders verhält wie der Skelettmuskel (Reichel und Bleichert (3, 4,)). Die aus dem Wiederanstieg der Spannung errechnete sogenannte zusätzliche Aktivierung bleibt beim Herzmuskel fast über die gesamte Anstiegszeit in ihrer vollen Höhe erhalten, während sie beim Skelettmuskel relativ frühzeitig abbricht.

M e t h o d e :

Die Originalkurven sind an verschiedenen Muskeln mit optischer Methode registriert worden. Als Spannungsschreiber diente eine Blattfeder von genügend hoher Eigenfrequenz. Die Präparate befanden sich in sauerstoffdurchperlter gepufferter Ringerlösung nach Barkan, Broemser und Hahn(1). Die Temperatur der Badeflüssigkeit wurde durch einen Thermostaten konstant gehalten. Die folgenden Objekte wurden untersucht:

- a) m. sartorius, Frosch;
- b) m. coracobrachialis, Schildkröte (Wasser-Landschildkröte);
- c) Ventrikel, Frosch;
- d) Ventrikel, Schildkröte.

Der Reizabstand betrug in allen Versuchen das 2-4 fache der gesamten Kontraktionsdauer.

Ergebnisse:

1. Abbildung 1 zeigt den Zuckungsverlauf eines m. coracobrachialis der Schildkröte bei zwei verschiedenen Temperaturen (1° und 17°C). Da die Gipfelzeiten sich in der von R. Wagner (5) zum ersten Mal beschriebenen Weise in Abhängigkeit von der Temperatur ändern, wird die Spannungsordinate in Prozenten der Maximalspannung im Gipfel angegeben. Die beiden Kurven haben annähernd den gleichen zeitlichen Verlauf, wenn die Zeitabszisse in Prozenten der Anstiegszeit aufgetragen wird. Der Temperaturkoeffizient (Q_{10}) liegt für beide Zuckungsphasen bei 2,8 in anderen Muskeln bei 2,4 bis 2,9. Der Reizabstand wird in diesen Versuchen mit der Änderung der Temperatur variiert und auf die Kontraktionsdauer abgestimmt (siehe oben).
2. Bei derselben Temperatur sind die Anstiegszeiten (und damit Kontraktionszeiten) der verwandten Muskelarten verschieden. Bei einer Temperatur von 9°C beträgt die Anstiegszeit des m. sartorius des Frosches etwa 0,1 sec., des m. coracobrachialis der Schildkröte 0,8 sec, des Herzventrikels des Frosches 2,5 sec und des Herzventrikels der Schildkröte 5 sec. Aus der symmetrischen Veränderung der einzelnen Zeitphasen in ein und demselben Muskel bei verschiedenen Temperaturen ergibt sich die weitere Frage, ob auch bei verschieden schnellen Muskeln das Verhältnis von Anstiegs- zur Erschlaffungszeit konstant und unabhängig von der Temperatur ist. Ein Beispiel für zwei verschieden schnelle Skelettmuskeln und zwei verschieden schnelle Herzmuskeln zeigt Abb. 2, in der die Zeitabszisse im absoluten Maßstab, die Spannungsordinate in Prozenten der Gipfelspannung aufgetragen ist. Werden dieselben Kurven in ein Diagramm übertragen, in dem die Zeit in Prozenten der Anstiegszeit angegeben ist, dann fallen die Zuckungskurven für die Skelettmuskeln und für die zwei Herzmuskeln zusammen. Die Zeitcharakteristik von zwei verschieden schnellen Skelettmuskeln (m. sartorius des Frosches und m. coracobrachialis der Schildkröte) unterscheiden sich also grundsätzlich nur durch den Zeitmaßstab (Abb. 3). Im Grenzfall kann die Anstiegszeit des schnellen Muskels durch Abkühlung auf die Anstiegszeit des langsamen verlängert werden. Dann besteht auch bei Angabe der absoluten Zeitwerte zwischen den Zuckungsabläufen beider Muskeln Übereinstimmung.

Dieselben Beziehungen lassen sich auch am Herzmuskel (Ventrikel von Frosch und Schildkröte) nachweisen (Abb. 3). Sowohl am Herz- als auch

am Skelettmuskel stimmt allerdings der relative Kurvenverlauf zweier verschieden schneller Objekte nur dann überein, wenn der Reizabstand in einer annähernd konstanten Beziehung zur Kontraktionsdauer steht. Bei dem langsamen Objekt ist jeweils ein grösserer Reizabstand notwendig als bei dem schnellen. In den dargestellten Fällen der Abbildung 2 und 3 beträgt der Reizabstand etwa die doppelte bis fünffache Kontraktionszeit. In diesem Bereich sind die sogenannten frequenzbedingten asymmetrischen Änderungen des Kontraktionsablaufes relativ gering.

3. Der Vergleich der Kurvenpause in Abbildung 3 zeigt jedoch, dass die Form des Kontraktionsablaufes im Herz- und Skelettmuskel unabhängig von der Reizfrequenz grundsätzlich verschieden ist, auch wenn alle Versuchsbedingungen dieselben sind. Das Verhältnis der Anstiegs- zur Erschlaffungszeit ist im Herzmuskel wesentlich grösser, als im Skelettmuskel. Die Erschlaffungszeit des Skelettmuskels ist allerdings wegen des sehr langsamen Abfalls auf die Ausgangsspannung nicht genau zu bestimmen. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich als Vergleichswerte diejenigen Zeiten zu wählen, die der Muskel vom Gipfelpunkt an benötigt, um ein bestimmtes Spannungsniveau zu erreichen. Wird zum Beispiel die Erschlaffungszeit als die Dauer des Abfalls vom Gipfel bis zum Zehnprozentwert der Extraspannung (als Maximalspannung im Gipfel minus Ausgangsspannung gemessen), dann ergibt sich für den Herzmuskel eine Erschlaffungszeit von 75 bis 120 % der Anstiegszeit, für den Skelettmuskel dagegen 370 bis 480 %; d. h. der Herzmuskel hat eine beinahe symmetrische Kontraktionskurve mit annähernd gleicher Anstiegs- und Erschlaffungszeit, der Skelettmuskel dagegen eine asymmetrische Kurve, in der die Steilheit des Anstiegs wesentlich die des Abfalles übertrifft.

Diskussion:

1. Unsere Ergebnisse beziehen sich nur auf die zeitlichen Verhältnisse und nicht auf die temperaturabhängigen Änderungen der Gipfelhöhen; sie stehen daher nicht im Widerspruch zu dem sogenannten Temperaturkoeffizienten der Kontraktionskraft, (R. Wagner (5)), den auch wir in allen Versuchen, sowohl am Herz- wie auch Skelettmuskel finden konnten. Das Maximum der isometrischen Spannung im Kontraktionsgipfel (k_g) ist offenbar eine Funktion von wenigstens 3 Grössen:

- a) der Anstiegszeit t_a ,
- b) der mittleren Verkürzungsgeschwindigkeit v_m der kontraktile Elemente,
- c) der Steifheit der elastischen Serienelemente.

Die Steifheit des elastischen Serienelementes hängt nur von der Spannung ab. Die Temperaturabhängigkeit der Steifheit ist sehr gering (Reichel, unveröffentlichte Versuche) und praktisch zu vernachlässigen.

Folglich hängt die Gipfelspannung bei verschiedenen Temperaturen von den Änderungen der Grössen t_a und v_m ab. Sie nimmt mit der Zunahme beider Grössen gleichfalls zu. Bei fallender Temperatur wird t_a grösser und v_m kleiner. Da die Gipfelhöhe k_g zunimmt, muss zwangsläufig der Temperaturkoeffizient von v_m kleiner sein als der von t_a . Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass wegen der Nichtlinearität der Dehnungskurven die Steifheit proportional der Spannung zunimmt; daher können bereits sehr kleine Änderungen der Verkürzung des kontraktile Elementes relativ grosse Änderungen der Gipfelspannung verursachen. Die Unterschiede zwischen den Q_{10} Werten von t_a und v_m brauchen daher nicht gross zu sein.

2. Die Übereinstimmung im Kurvenverlauf von verschiedenen Skelettmuskeln bei einem auf die Anstiegszeit bezogenen Zeitmaßstab läßt sich nur so erklären, daß die der Kontraktion und Erschlaffung zugrundeliegenden Elementarvorgänge bei allen untersuchten Skelettmuskeln den gleichen zeitlichen Ablauf haben. (vgl. auch Lloyd (2)). Dasselbe gilt auch für Herzmuskeln. Dabei können die Unterschiede im absoluten Zeitmaßstab mehr als eine Größenordnung ausmachen. Im Zusammen-

hang mit dem bereits erörterten Ergebnis (Ziffer 1) bedeutet dieser Befund, daß bei geeigneter Wahl der Versuchstemperatur der zeitliche Ablauf einer Einzelzuckung von verschiedenen schnellen Skelett- bzw. Herzmuskeln auch im absoluten Zeitmaßstab der gleiche ist.

3. Der unterschiedliche Kurvenverlauf von Herz- und Skelettmuskel weist auch grundsätzliche Unterschiede im gegenseitigen Verhältnis von Kontraktions- und Erschlaffungsablauf hin. Der Herzmuskel hat eine im Verhältnis zur Erschlaffungszeit stark verlangsamte Anstiegszeit. Dieser Befund steht offensichtlich im Einklang mit der Tatsache, dass der zeitliche Verlauf der Aktivierung (Reichel und Bleichert (3, 4)) im Herzmuskel ein Plateau aufweist und folglich wesentlich länger andauert als im Skelettmuskel, in dem die Aktivierung im Gipfelpunkt der Kontraktion nahezu beendet ist.

Literaturverzeichnis:

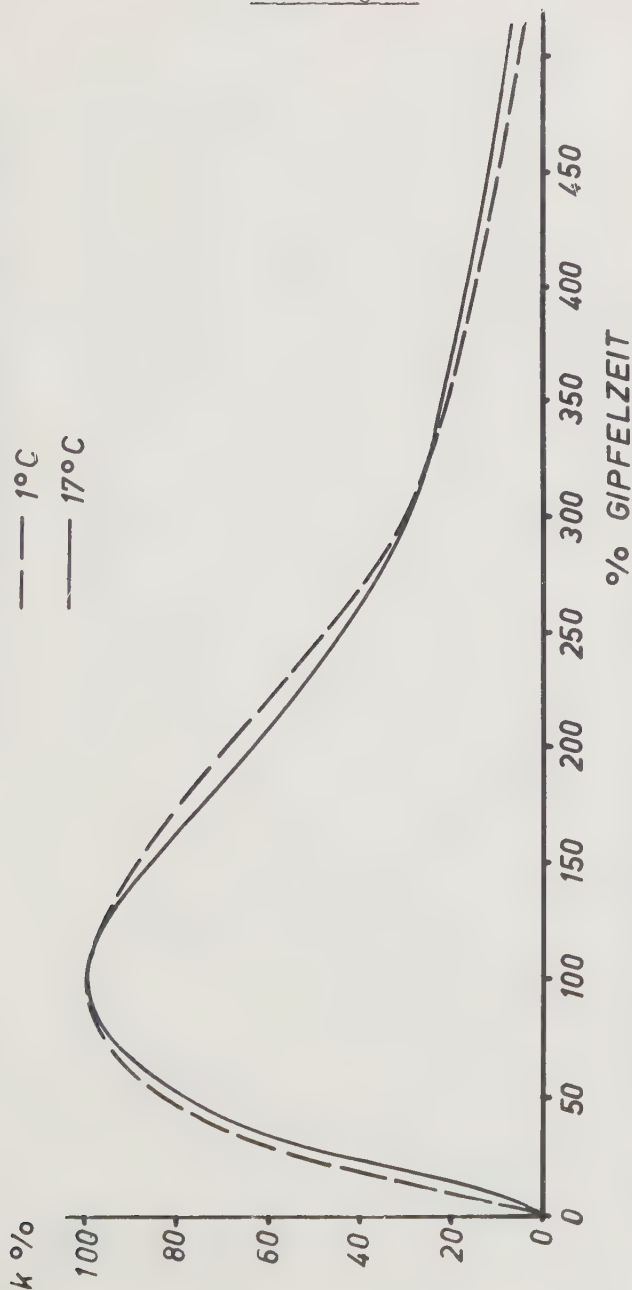
1. Barkan, H., Ph. Broemser und A. Hahn:
Z. Biol. 74, 1 (1922)
2. Lloyd, D.P.C.:
Howells Textbook of Physiology,
Philadelphia and London 1947, p. 84
3. Reichel, H. und A. Bleichert:
Naturwiss. 44, 123 (1957)
4. Reichel, H. und A. Bleichert:
Pflüg. Arch. 265, 416 (1958)
5. Wagner, R.:
Z.Biol. 84, 171 (1926)

Abbildung 1

SKELETTMUSKEL TEST. GRAEC.

--- 1°C

— 17°C

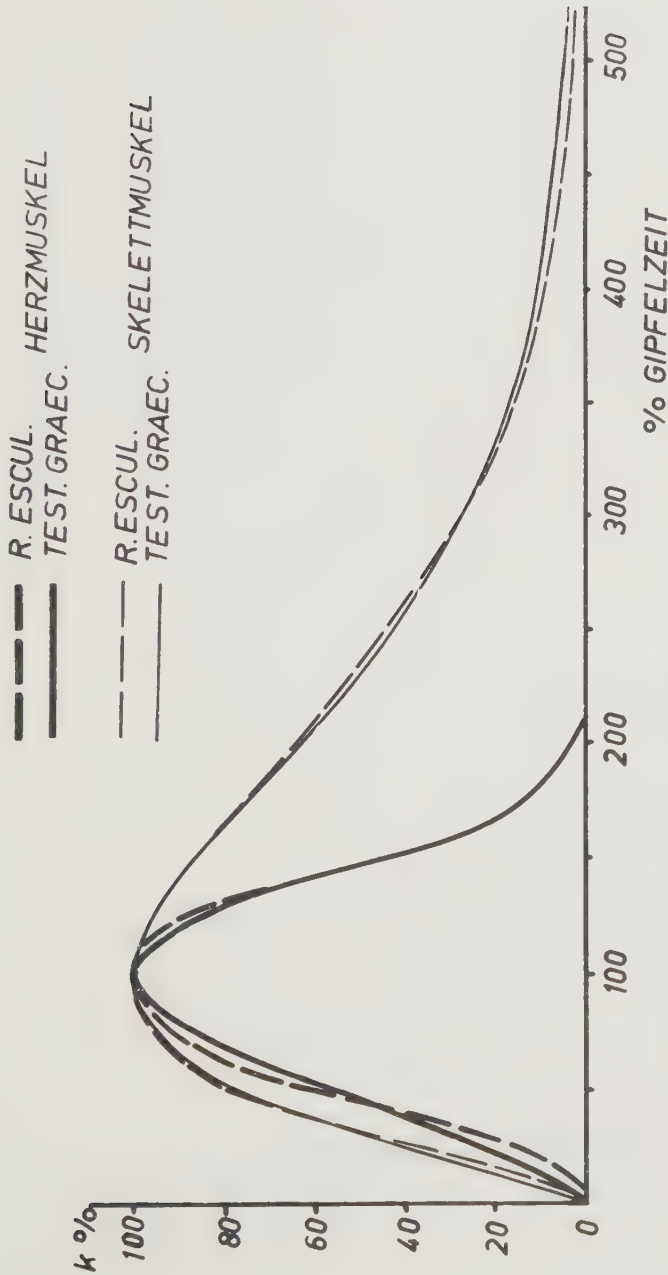


Relativer Zuckungsverlauf des Skelettmuskels von Testudo Graeca (m. coracobrachialis) bei zwei verschiedenen Temperaturen (1°C und 17°C).

Ordinate: % der Gipfelspannung

Abszisse: % der Anstiegszeit

Abbildung 3



Dieselbe Abbildung wie Abbildung 2 auf relativen Zeitmaßstab übertragen.

Ordinate: % der Gipfelspannung

Abszisse: % der Anstiegszeit

Abbildung 2

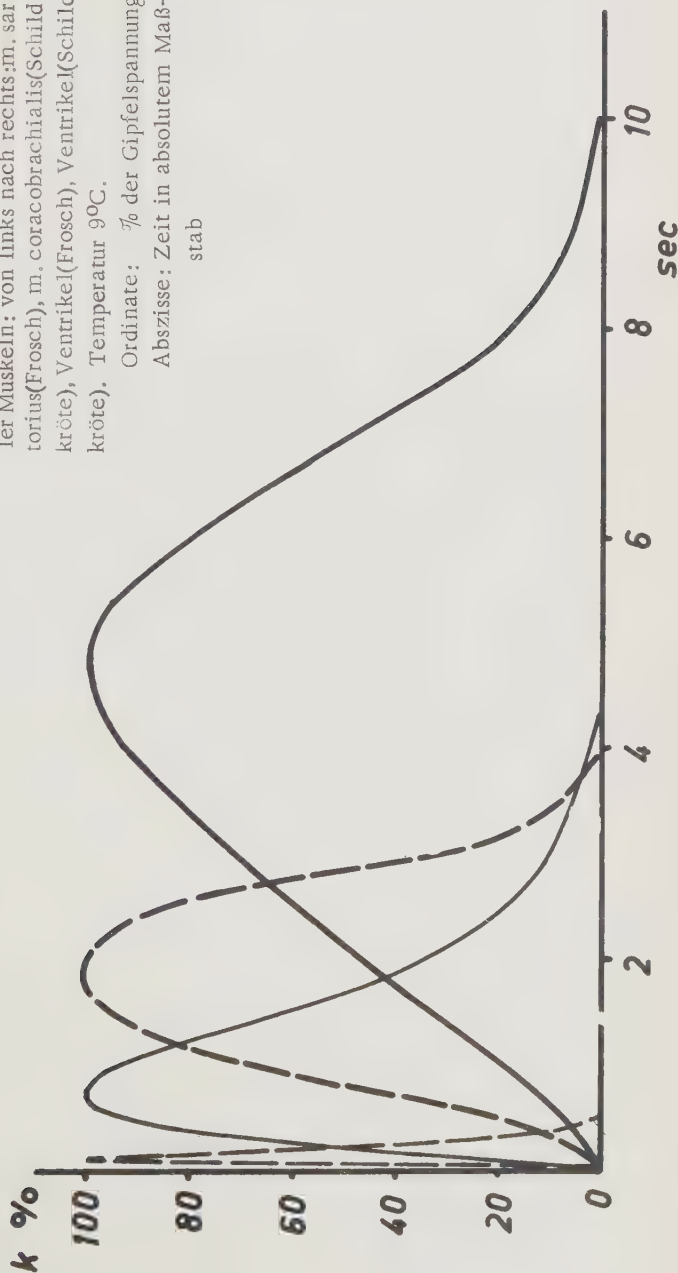
- - - R. ESCUL. HERZMUSKEL
 ——— TEST. GRAEC.

 - - - R. ESCUL. SKELETTMUSKEL
 ——— TEST. GRAEC.

Zuckungsverlauf vier verschieden schneller Muskeln: von links nach rechts: m. sartorius (Frosch), m. coracobrachialis (Schildkröte), Ventrikel (Frosch), Ventrikel (Schildkröte). Temperatur 9°C.

Ordinate: % der Gipfelspannung

Abszisse: Zeit in absolutem Maßstab



Herrn Prof. Dr. R. Wagner sei für die Übernahme des Referates, Herrn Prof. Dr. H. Reichel für die liebenswürdige Überlassung des Themas, sowie für die wertvollen Anregungen, die hilfsbereite Unterstützung und praktischen Unterweisungen bei der Ausarbeitung mein ergebenster Dank ausgesprochen.

Lebenslauf

Am 2. September 1924 wurde ich als jüngste Tochter des Bankiers Georg W. Brückner und seiner Ehefrau Cäcilie, geb. Wellermann in Fürth/Bayern geboren.

Nach der Volksschule besuchte ich von 1936 bis 1945 das Institut der Englischen Fräulein in München-Nymphenburg, wo ich 1945 die Hochschulreife erreichte. Bis zu Beginn des Studiums 1946 arbeitete ich am Krankenhaus in Weilheim als Pflegerin. Bis zur Währungsreform 1948 hatte ich vier Semester Medizin an der Ludwig-Maximilians-Universität studiert. Auf Grund der Währungsreform musste ich das Studium unterbrechen. Ich arbeitete zwei Jahre als Säuglingsschwester in England, besuchte anschliessend die Städtische Sprachenschule in München, die ich im Januar 1952 mit dem englischen Dolmetscher-Diplom abschloss. Nach Berufstätigkeit als Dolmetscher und Sekretärin nahm ich November 1952 mein medizinisches Studium wieder auf. Das Staatsexamen beendete ich im Juni 1957. Von Juli bis Oktober 1957 arbeitete ich als Doktorand am Physiologischen Institut in München. Seit Oktober 1957 bin ich als Pflichtassistentin auf der inneren Abteilung des St. Franziska-Stifts in Bad Kreuznach tätig.

April 1958

